

Adubação potássica para amenizar os efeitos da deficiência hídrica nas culturas do feijão-caupi e feijão mungo-verde

Maickon Alexandri Rezende Paulino¹, Lucila Silva Molina¹, Jiovana Kamila Vilas Boas²,
Ianca Beatriz Paes Aragão Ferreira², Gilciany Ribeiro Soares², Fábio Steiner^{1,2}

¹ Curso de Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Cassilândia (MS).

² Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal (PGAGRO), Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Aquidauana (MS).

Resumo: Aplicação de quantidades adequadas de fertilizante potássico pode ter papel essencial no crescimento e na tolerância das plantas quando expostas às condições de restrição hídrica. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da aplicação de potássio (K) no crescimento e na indução da tolerância à deficiência hídrica em plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] E feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Syn. *Phaseolus aureus* Roxb.)]. Os tratamentos foram dispostos no delineamento experimental de blocos casualizados em esquema fatorial 2×3 , constituído por dois níveis de adubação potássica [40 mg dm^{-3} de K (nível baixo) e 160 mg dm^{-3} de K (nível alto)] e por três regimes de irrigação [100 % da capacidade de campo – CC (controle), 50 % da CC (estresse moderado) e 25 % da CC (estresse severo)] com quatro repetições. Os resultados evidenciaram que a aplicação de alto nível de fertilizante potássico melhorou a estabilidade da membrana celular das folhas, reduziu o dano das membranas plasmáticas e minimizou a perda de água do tecido foliar das plantas de feijão-caupi e feijão mungo-verde expostas às condições de restrição hídrica.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; *Vigna radiata*; Estresse abiótico.

Potassium fertilizer to alleviate the adverse effects of deficiency in cowpea and green mung bean crops

Abstract: Application of adequate amounts of potassium fertilizer can play an essential role in the growth and tolerance of plants when exposed to water restriction conditions. This study aimed to evaluate the efficacy of potassium (K) application on growth and induction of tolerance to water deficit in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] And green mung beans [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Syn. *Phaseolus aureus* Roxb.)]. The treatments were arranged in a randomized block experimental design in a 2×3 factorial scheme, consisting of two levels of potassium fertilization [40 mg dm^{-3} of K (low level) and 160 mg dm^{-3} of K (high level)] and by three irrigation regimes [100 % of field capacity – CC (control), 50 % of CC (moderate stress) and 25 % of CC (severe stress)] with four replications. The results showed that the application of a high level of potassium fertilizer improved the stability of the leaf cell membrane, reduced the damage to the plasma membranes and minimized water loss from the leaf tissue of cowpea and mung bean plants. green exposed to water restriction conditions.

Keywords: *Vigna unguiculata*; *Vigna radiata*; Abiotic stress.

Introdução

O cultivo de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] e feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Syn. *Phaseolus aureus* Roxb.)] Vêm crescendo nos últimos anos na região do Cerrado brasileiro. Essas culturas são importantes para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil, especialmente devido ao alto valor nutritivo e o baixo custo, o que torna essas duas culturas oleaginosas excelentes fontes de alimentos e de proteínas para a população de baixa renda (GUNATHILAKE *et al.*, 2016). No entanto, apesar do cenário favorável para o cultivo dessas culturas na região Centro-Oeste do Brasil, a ocorrência de adversidades climáticas é fator de risco e de insucesso para o cultivo de feijão-caupi e mungo-verde na região do Cerrado.

Dentre estas adversidades, a ocorrência da deficiência hídrica tem sido apontada como um dos principais fatores abióticos que limitam o crescimento das plantas e a produtividade das culturas (MERTZ-HENNING *et al.*, 2018). Portanto, para assegurar o suprimento de alimentos para uma população mundial crescente, estudos que visam buscar estratégias de manejo que minimizem os efeitos adversos da deficiência hídrica são importantes para o agronegócio brasileiro. No entanto, a adoção de práticas de manejo que visam à sustentabilidade e o sucesso do uso agrícola dos solos do Cerrado brasileiro estão na dependência do conhecimento dos diferentes mecanismos de tolerâncias das plantas à restrição hídrica.

A deficiência hídrica reduz a absorção e o transporte dos nutrientes das raízes para a parte aérea, devido à redução da taxa de transpiração e ao comprometimento da permeabilidade das membranas plasmáticas (VIEIRA *et al.*, 2017). Em condições de restrição hídrica, as plantas apresentam uma série de alterações morfofisiológicas, tais como redução da área foliar, da condutância estomática, da taxa de transpiração, da taxa fotossintética e redução da taxa de crescimento relativo (FIRMANO *et al.*, 2009; CATUCHI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2019; STEINER *et al.*, 2022), além, da modificação da atividade de enzimas do metabolismo do nitrogênio e carbono e mudanças nos níveis de antioxidantes (FLEXAS *et al.*, 2006; GUNES *et al.*, 2008). Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam reduzir os efeitos adversos da deficiência hídrica, constituindo, portanto, mecanismos de tolerância à seca.

O efeito da deficiência hídrica no desenvolvimento e na produtividade das culturas agrícolas depende da época de ocorrência e de sua severidade. As plantas são particularmente sensíveis à deficiência hídrica durante a fase de estabelecimento das plântulas e na fase de florescimento e enchimento dos grãos, podendo ocorrer perdas significativas de produtividade de grãos, dependendo da duração e intensidade da restrição hídrica (STEINER *et al.*, 2020).

Nas fases de germinação e emergência, a restrição hídrica resulta na diminuição do estande de plantas no campo, no florescimento, causa o aborto das flores e impede a antese, enquanto no enchimento dos grãos, afeta o tamanho e o peso dos grãos e, conseqüentemente, a produtividade de grãos das culturas (GRIFFITHS; PARRY, 2002; SILVA *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2022).

As plantas desenvolveram mecanismos diferenciados de tolerância à deficiência hídrica. Estes mecanismos visam manter o desenvolvimento das plantas e garantir a produtividade da cultura em condições de baixa disponibilidade de água no solo. Para manter o status hídrico dos tecidos vegetais, as células podem realizar o ajuste osmótico, através do acúmulo de vários solutos compatíveis, como íons inorgânicos, ácidos orgânicos, carboidratos, e aminoácidos livres (BASU *et al.*, 2016). Esse acúmulo de soluto nas células vegetais em resposta à restrição hídrica ajuda na manutenção do turgor das células e, portanto, constitui mecanismo de tolerância à seca (WANG *et al.*, 2013; BASU *et al.*, 2016). Em condições de restrição hídrica, o ajuste osmótico tem resultado na manutenção da condutância estomática, do status hídrico das folhas, taxa de fotossíntese foliar e taxa de crescimento das plantas (BAHRAMI-RADB; HAJIBOLAND, 2017).

Entre os íons inorgânicos, o potássio (K^+) tem sido citado como o principal soluto inorgânico que desempenha papel significativo no ajuste osmótico. O acúmulo de íons K^+ ajuda a proteger as plantas dos efeitos negativos da restrição hídrica não apenas pelo ajuste osmótico, mas também pela desintoxicação de espécies reativas de oxigênio (EROs), regulação estomática, proteção da integridade da membrana celular e altas taxas de fotossíntese (WANG *et al.*, 2013; STEINER *et al.*, 2022). Além disso, o K^+ também é essencial para a translocação de fotoassimilados da parte aérea para o crescimento das raízes (HASANUZZAMAN *et al.*, 2018). Portanto, a aplicação de quantidades adequadas de fertilizante potássico pode desempenhar papel importante no crescimento e na tolerância das plantas à deficiência hídrica.

Bahrami-Radb e Hajiboland (2017) verificaram que a regulação estomática foi melhorada com a aplicação de fertilizante potássico, a qual foi responsável por manter a síntese de carboidratos e, assim, melhorou o crescimento de plantas de tabaco (*Nicotiana rustica* L.) em condições de deficiência hídrica. Zahoor *et al.* (2017) demonstraram que a aplicação de K melhorou o ajuste osmótico e aumentou o teor de aminoácidos livres e de açúcares em plantas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.) sob restrição hídrica. Samar-Raza *et al.* (2013) reportaram que a aplicação de K aumentou a tolerância das plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) à restrição hídrica, por reduzir a absorção de nutrientes fitotóxicos e melhorar a eficiência fisiológica das plantas. Zain *et al.* (2014) constataram que a aplicação de fertilizante potássico

induziu o ajuste osmótico das plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), o que resultou no maior acúmulo de matéria seca da parte aérea e da área foliar das plantas sob restrição hídrica. Zhang *et al.* (2014) e Steiner *et al.* (2022) também mostraram que a adubação potássica aumentou a tolerância das plantas de milho e soja. À deficiência hídrica, respectivamente. No entanto, as informações sobre o efeito da adubação potássica na busca de amenizar os efeitos adversos da deficiência hídrica nas plantas de feijão-caupi e feijão mungo-verde ainda são desconhecidas.

Em função do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar a eficácia da aplicação de potássio (K) no crescimento e na indução da tolerância à deficiência hídrica em plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] E feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek (Syn. *Phaseolus aureus* Roxb.)]

Material e Métodos

Dois experimentos foram conduzidos em condições de casa de vegetação na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), em Cassilândia (MS), no período de março a dezembro de 2021. O Experimento 1 foi realizado com o objetivo de testar o efeito da adubação potássica na indução da tolerância das plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp. À deficiência hídrica. O Experimento 2 foi realizado com o objetivo de testar o efeito da adubação potássica na indução da tolerância de plantas de feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] à deficiência hídrica.

Os experimentos foram conduzidos em vasos plásticos de 12 dm³ de capacidade, preenchidos com 11 dm³ de solo arenoso peneirado em malha de 5,0 mm, proveniente da camada superficial de 0,0–0,20 m de um Neossolo Quartzarênico Órtico latossólico – NQo (SANTOS *et al.*, 2018), coletado em uma área de pastagem nativa sem histórico de cultivo agrícola. As principais características químicas do solo foram as seguintes: pH (CaCl₂) = 4,6, matéria orgânica = 14 g dm⁻³, P (Mehlich⁻¹) = 7,8 mg dm⁻³, K⁺ = 0,16 cmol_c dm⁻³, Ca²⁺ = 1,50 cmol_c dm⁻³, Mg²⁺ = 0,50 cmol_c dm⁻³, H⁺ + Al³⁺ = 3,60 cmol_c dm⁻³, Al³⁺ = 0,25 cmol_c dm⁻³, CTC = 5,80 cmol_c dm⁻³ e 38% de saturação por bases. Todas as análises químicas foram efetuadas seguindo indicações de Teixeira *et al.* (2017).

A capacidade de retenção de água do solo sob condições de drenagem livre foi mensurada usando a taxa de decréscimo do teor de água de 0,1 g kg⁻¹ dia⁻¹ como sugerido por Casaroli e Lier (2008), e o valor da capacidade máxima do solo em reter água foi de 210 g kg⁻¹.

A correção da acidez do solo foi realizada com a aplicação de 1,10 g de calcário por dm³ de solo (CaO: 38 %; MgO: 11 %; PRNT: 85 %; e, PN: 62 %), visando elevar a saturação por base do solo à 70 % (SOUSA; LOBATO, 2004). Após a aplicação do calcário, o solo foi

homogeneizado, umedecido até próximo da capacidade de retenção de água, e incubado por 30 dias. Decorrido esse período, o solo foi fertilizado com 20 mg dm⁻³ de N (uréia), 250 mg dm⁻³ de P (superfosfato simples), 15 mg dm⁻³ de S (gesso agrícola), 2 mg dm⁻³ de Cu (sulfato de cobre), 2 mg dm⁻³ de Zn (sulfato de zinco), 1 mg dm⁻³ de Mo (Molibdato de amônio) e 1 mg dm⁻³ de B (ácido bórico). Aos 30 e 45 dias após a semeadura também foram aplicados 50 mg dm⁻³ de N em cobertura na forma de ureia (45% de N).

O delineamento experimental utilizado em ambos os experimentos foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial (2 × 3), com quatro repetições. O primeiro fator foi constituído pela aplicação de dois níveis de adubação potássica [40 mg dm⁻³ de K (baixa disponibilidade) e 160 mg dm⁻³ de K (alta disponibilidade)], na forma de cloreto de potássio (KCl). O segundo fator foi constituído por três níveis de manejo da irrigação [100 % da capacidade de retenção de água do solo (controle), 50% do controle (estresse moderado) e 25 % do controle (estresse severo)]. O controle do teor de água do solo foi efetuado por meio de um medidor de umidade instalado nos vasos (Soil Moisture Sensor – 5TM, Decagon Devices, Inc., Pullman, WA, USA).

Cada unidade experimental foi constituída por dois vasos, perfazendo um total de 48 vasos. Um dos vasos de cada repetição foi utilizado para as amostragens destrutivas, incluindo a área foliar e a quantificação da matéria seca da parte aérea e das raízes após 20 dias de exposição das plantas à deficiência hídrica. O outro vaso da repetição foi utilizado para a quantificação do conteúdo relativo de água nas folhas e do índice de estabilidade das membranas celulares das folhas de feijão-caupi ou feijão mungo-verde durante os 20 dias de restrição hídrica e após os 3 dias de recuperação das plantas em condições bem irrigadas.

Para a implantação dos experimentos foram semeadas 10 sementes de feijão-caupi (Experimento 1) e feijão mungo-verde (Experimento 2) em cada vaso. Após 10 dias realizou-se o desbaste deixando-se duas plantas por vaso. Durante os 35 dias após a emergência todos os tratamentos foram mantidos sob o mesmo teor de água no solo [100 % da capacidade de retenção de água do solo (controle)]. Posteriormente, a imposição da restrição hídrica (50 % e 25 % da capacidade de retenção de água do solo) foi realizada por um período de 20 dias. Após este período, as plantas foram reidratadas, ou seja, elevou-se o teor de água do solo à 100% da capacidade de retenção de água, por 3 dias.

Aos 1, 4, 8, 12, 16 e 20 dias após o início da imposição da restrição hídrica e aos 3 dias após a reidratação das plantas, foram avaliados o conteúdo relativo de água (CRA) das folhas. Aos 20 dias após a imposição da restrição hídrica e aos 3 dias após a reidratação das plantas

também foram quantificados a porcentagem de dano das membranas plasmáticas, conforme as metodologias a seguir:

Conteúdo relativo de água na folha (CRA): O CRA foi determinado seguindo-se a metodologia proposta por Barrs (1968). Foram retirados dez discos foliares de 20 mm de diâmetro de folhas totalmente expandidas, sempre antes do nascer do sol (pre-dawn), para que a umidade relativa (condições de déficit de pressão de vapor) esteja uniforme para todas as medidas em todos os dias de avaliação. Os discos foliares foram imediatamente pesados em balança de precisão de 0,0001 g para obtenção da massa fresca (MF). Em seguida, os discos foliares foram acondicionados em placas de Petry com água destilada e mantidos à temperatura de 25 °C, por 6 horas. Posteriormente, os discos foliares foram novamente pesados, após a retirada do excesso de água superficial com papel toalha, obtendo-se a massa túrgida ou saturada (MT).

Por fim, os discos foliares foram colocados em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até atingirem massa constante (24h). Em seguida, os discos foliares foram pesados para obtenção da massa seca (MS). O CRA foi definido como a relação entre o conteúdo de água de uma amostra de folha imediatamente após a sua coleta (MF) e o conteúdo de água da mesma amostra após a recuperação total da turgescência (MT), comparativamente a massa seca (MS), sendo determinado pela seguinte equação: $CRA = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$.

Dano das membranas plasmáticas: A determinação da porcentagem de dano das membranas plasmáticas foi realizada utilizando-se o método da liberação de eletrólitos com descrito por Lutts *et al.* (1996), com algumas modificações. Para tanto, foram coletados 30 discos foliares com 8,5 mm de diâmetro, provenientes de folhas totalmente expandidas das duas plantas de cada vaso. Os discos coletados foram lavados duas vezes com água destilada, e em seguida colocados em tubos de ensaio com 30 mL de água destilada, e mantidos em temperatura de 25 °C, por 6 horas.

Posteriormente, realizou-se a leitura da condutividade elétrica da solução, a qual foi considerada como sendo a condutividade livre (CL). Os discos foliares foram, então, submetidos ao banho maria a 100 °C por 1 h, e após o resfriamento novamente determinou-se a condutividade elétrica, a qual foi denominada como a condutividade total (CT). As leituras da condutividade elétrica foram realizadas com um condutivímetro de bancada modelo Digimed DM 31. A partir dos dados de extravasamento dos eletrólitos foi calculada a

porcentagem de dano das membranas celulares, seguindo a seguinte fórmula: $DM (\%) = (CL/CT) \times 100$.

Após 20 dias de exposição das plantas a restrição hídrica foram determinadas as seguintes variáveis: altura de planta, diâmetro de caule, área foliar, volume radicular e matéria seca de folhas, caule e raízes. Para a determinação da matéria seca dos diferentes órgãos, as plantas foram seccionadas e colocadas em sacos de papel e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65 °C até atingirem massa constante. Em seguida, determinou-se a massa de matéria seca utilizando-se balança de precisão.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F em nível de 5 % de probabilidade. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade. As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.6 para Windows.

Resultados e Discussão

Efeito da adubação potássica na indução da tolerância das plantas de feijão-caupi (Experimento 1)

Os resultados da análise de variância não evidenciaram efeitos significativos ($p > 0,05$) da interação entre os níveis de adubação potássica e nível de deficiência hídrica para nenhuma das variáveis avaliadas para as plantas de feijão-caupi.

Os resultados do conteúdo relativo de água (CRA) das folhas de feijão-caupi em função dos níveis de deficiência hídrica e da aplicação de K são mostrados na Tabela 1. Os níveis de restrição hídrica e a aplicação de K afetaram significativamente ($p < 0,05$) o conteúdo relativo de água durante o período de exposição das plantas à restrição hídrica (Tabela 1). Os níveis de adubação potássica não afetaram significativamente ($p > 0,05$) o CRA das plantas de feijão-caupi até o 4º dia de exposição à deficiência hídrica (Tabela 1). Após o 8º dia de restrição hídrica, as plantas fertilizadas com alto nível de adubação potássica apresentaram maior CRA. Esses resultados indicam que a aplicação de altas quantidades de fertilizante potássico minimizou a perda de água das folhas durante o período de deficiência hídrica. Este aumento no CRA foi devido ao K melhorar o ajuste osmótico das plantas sob condições de restrição hídrica.

Zain *et al.* (2014) também verificaram que a aplicação de fertilizante potássico melhorou a síntese de osmólitos em condições de deficiência hídrica, o que induziu aumento no conteúdo

relativo de água das plantas de arroz (*Oryza sativa* L.). De modo similar, Zahoor *et al.* (2017) constataram que a adubação potássica melhorou o ajuste osmótico das plantas de algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) expostas às condições de restrição hídrica. Bahrami-Radb e Hajiboland (2017) também mostraram que plantas de tabaco (*Nicotiana rustica* L.) adubadas com fertilizante potássico apresentaram maior CRA e maior regulação estomática e síntese de carboidratos em condições de deficiência hídrica.

Tabela 1 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio no conteúdo relativo de água (%) das folhas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Durante o período de restrição hídrica.

Fatores de variação	Dias após a imposição da deficiência hídrica						
	1	4	8	12	16	20	23 [†]
Nível da adubação potássica							
Baixo (40 mg dm ⁻³ de K)	88 a	85 a	80 b	70 b	70 b	69 b	86 b
Alto (160 mg dm ⁻³ de K)	89 a	85 a	85 a	76 a	78 a	77 a	94 a
Nível de deficiência hídrica							
Controle (100 % cc)	91 a	91 a	89 a	90 a	92 a	91 a	92 a
Moderada (50 % cc)	88 a	84 b	73 b	76 b	75 b	77 b	90 a
Severa (25 % cc)	88 a	78 c	58 c	57 c	54 c	51 c	91 a
CV (%)	5,23	9,17	9,13	8,08	8,63	7,27	6,82

Médias representadas por letras distintas para o nível de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. [†] Conteúdo relativo de água das folhas de feijão-caupi mensurado após três dias de reidratação das plantas.

Os níveis de deficiência hídrica afetaram significativamente ($p < 0,05$) o CRA a partir do terceiro dia de exposição das plantas de feijão-caupi à deficiência hídrica (Tabela 1). Os valores de CRA a partir do quarto dia foram significativamente menores nas plantas expostas aos níveis de restrição hídrica moderada e severa. Estes resultados devem-se à menor disponibilidade de água no solo nestes regimes de irrigação. As plantas submetidas aos níveis de 50 % (estresse moderado) e 25 % (estresse severo) da capacidade de retenção de água do solo por 20 dias apresentaram valores de CRA de 77 % e 51 %, respectivamente (Tabela 1). Resultados semelhantes foram reportados por Fioreze *et al.* (2011), os quais constataram que o CRA nas plantas de soja sob manejo normal de irrigação (100% da capacidade do solo em reter água) se manteve constante (> 90 %) durante todo o período de avaliação. Por sua vez, as plantas submetidas ao nível de 65 % da capacidade de retenção de água do solo, o CRA nas folhas de soja foi reduzido para valores próximos a 50 % após 5 dias de restrição hídrica.

Os níveis de deficiência hídrica e a aplicação de fertilizante potássico influenciaram significativamente ($p < 0,05$) a porcentagem de dano das membranas celulares das plantas de feijão-caupi (Tabela 2). Plantas fertilizadas com alto nível de K apresentaram menor dano das

membranas celulares após 20 dias de deficiência hídrica e aos 3 dias após a reidratação das plantas. Esses resultados indicam que a aplicação de alto nível de adubação potássica reduziu os danos das membranas celulares causados pela restrição hídrica. Resultados semelhantes foram reportados por Wei *et al.* (2013), os quais mostraram que a adequada aplicação de K melhorou a integridade da membrana celular de plantas de trigo em condições de deficiência hídrica.

De modo similar, Soleimanzadeh *et al.* (2010) constataram que a aplicação de alto nível de K aumentou significativamente a integridade das membranas celulares em plantas de girassol (*Helianthus annuus* L.) sob condições de restrição de água. Essa melhora na estabilidade das membranas celulares com a aplicação de altos níveis de K indica o papel do K na mitigação do estresse oxidativo, o que aumenta a tolerância das plantas à restrição hídrica. Em condições de deficiência hídrica, o excesso de produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) nas plantas pode promover a peroxidação lipídica das células, levando a aumento da permeabilidade da membrana celular, o que é evidenciado por aumentos no extravasamento de eletrólitos (PINHEIRO; CHAVES, 2011; HASANUZZAMAN *et al.*, 2018).

Tabela 2 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio sobre a porcentagem de dano nas membranas celulares (%) das plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Após 20 dias de exposição à deficiência hídrica e após 3 dias de reidratação.

Fontes de Variação	Após 20 dias de exposição à restrição hídrica	Após 3 dias de reidratação das plantas
Nível de adubação potássica		
Baixo (40 mg dm ⁻³ de K)	20,07 b	16,36 b
Alto (160 mg dm ⁻³ de K)	12,03 a	9,81 a
Nível de deficiência hídrica		
Controle (100 % cc)	8,29 a	10,19 a
Moderada (50 % cc)	17,12 b	12,26 b
Severa (25 % cc)	22,23 c	12,38 b
CV (%)	7,84	6,78

Médias representadas por letras distintas para o nível de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os maiores valores de dano de membrana foram obtidos nas plantas de feijão-caupi submetidas às condições de restrição hídrica (Tabela 2). De acordo com Fioreze *et al.* (2011), a exposição das plantas às condições de restrição hídrica resulta no aumento da liberação de eletrólitos através das membranas plasmáticas. Steiner *et al.* (2022) reportaram que a redução do CRA resultou no aumento na liberação de eletrólitos das células em plantas de soja. Uma

das principais funções da membrana plasmática é regular a permeabilidade, quando a mesma sofre algum dano físico ou químico essa permeabilidade é perdida, ocorrendo o aumento do extravasamento de eletrólitos (TAIZ *et al.*, 2017).

Durante a exposição da deficiência hídrica, as plantas apresentam alteração no transporte de elétrons mediado pelos radicais superóxido formados (O_2^-) que competem com o $NADP^+$ para redução no Fotossistema I (REDDY *et al.*, 2004). Como consequência, pode ocorrer a perda e redução das proteínas D1 e D2 do fotossistema II (REDDY *et al.*, 2004). A diminuição da assimilação de CO_2 , a redução das atividades dos fotossistemas e a alteração no sistema de transporte de elétrons, aceleram a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), via cloroplasto que tem a capacidade de danificar estruturas e componentes celulares importantes, como as membranas plasmáticas, causando danos na estrutura e funcionamento da mesma, alterando sua fluidez, inativando receptores e enzimas e aumentando a permeabilidade a íons (TAIZ *et al.*, 2017).

Os níveis de restrição hídrica e os níveis de adubação potássica afetaram significativamente ($p < 0,05$) a maioria das características morfológicas das plantas de feijão-caupi (Tabela 3). As plantas fertilizadas com alto nível de adubação potássica possuem maior altura de planta, área foliar e matéria seca da parte aérea. No entanto, a aplicação de distintos níveis de adubação potássica não teve efeito sobre o diâmetro do caule, volume radicular e matéria seca das raízes (Tabela 3).

Tabela 3 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio na altura de planta (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), volume radicular (VR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR) das plantas de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] Após 20 dias de exposição às condições de restrição hídrica.

Fatores de variação	AP (cm)	DC (mm)	AF (dm ²)	VR (cm ³)	MSPA (g)	MSR (g)
Nível de adubação potássica						
Baixo (40 mg dm ⁻³ de K)	84,9 b	7,86 a	29,8 b	29,9 a	17,8 b	8,98 a
Alto (160 mg dm ⁻³ de K)	107,8 a	8,25 a	34,0 a	33,6 a	21,7 a	9,43 a
Nível de deficiência hídrica						
Controle (100 % cc)	112,7 a	8,66 a	41,3 a	36,7 a	23,3 a	9,45 a
Moderada (50 % cc)	98,1 b	8,04 b	31,8 b	31,7 b	19,4 b	9,16 b
Severa (25 % cc)	78,3 c	7,63 c	22,5 c	27,0 c	16,7 c	8,90 b
CV (%)	11,52	9,37	11,22	19,47	8,23	8,54

Médias representadas por letras distintas para o nível de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

O aumento do nível de deficiência hídrica resultou na menor altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, volume radicular e matéria seca da parte aérea e das raízes (Tabela 3). Estes resultados evidenciam que o crescimento das plantas de feijão-caupi foi inibido com a exposição das plantas aos níveis de deficiência hídrica. As plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram redução de altura de planta, área foliar, volume radicular, matéria seca da parte aérea e matéria seca das raízes de 30 %, 45 %, 26 %, 28 % e 6 %, respectivamente, quando comparado com às plantas sob condições controle (Tabela 3). A deficiência hídrica provoca redução na taxa fotossintética, taxa de transpiração e taxa de crescimento das plantas (KRON *et al.*, 2008), resultando no menor crescimento e desenvolvimento das plantas, especialmente da parte aérea. Estes efeitos, em geral, podem ser parcialmente explicados por causa da baixa concentração intercelular de CO₂ devido ao fechamento dos estômatos (CHAVES *et al.*, 2002).

A restrição hídrica também pode modificar as atividades das enzimas envolvidas no metabolismo do carbono e do nitrogênio e alterar os níveis de antioxidantes (GONG *et al.*, 2005; FLEXAS *et al.*, 2006; GUNES *et al.*, 2008). Algumas destas respostas fazem parte de estratégias que visam a redução dos efeitos deletérios da deficiência hídrica, constituindo, portanto, em mecanismos de tolerância das plantas à seca.

Efeito da adubação potássica na indução da tolerância das plantas feijão mungo-verde (Experimento 2)

Os resultados da análise de variância não evidenciaram efeitos significativos ($p > 0,05$) da interação entre os níveis de adubação potássica e níveis de deficiência hídrica para nenhuma das variáveis avaliadas para as plantas de feijão mungo-verde.

O nível de adubação potássica não afetou significativamente ($p > 0,05$) o conteúdo relativo de água das folhas de feijão mungo-verde até o 4º dia de exposição à deficiência hídrica (Tabela 4). Após o 8º dia de restrição hídrica, as plantas adubadas com alto nível de adubação potássica apresentaram maior conteúdo relativo de água nas folhas. Esses resultados indicam que a aplicação de elevadas quantidades de fertilizante potássico minimizou a perda de água das folhas durante a exposição à restrição hídrica. Este aumento no conteúdo relativo de água nas folhas foi devido ao K ter melhorando o ajuste osmótico das plantas expostas às condições de restrição hídrica. Resultados semelhantes foram reportados em plantas de arroz (ZAIN *et al.*, 2014), algodão (ZAHOOOR *et al.*, 2017) e soja (STEINER *et al.*, 2022).

O conteúdo relativo de água nas folhas das plantas em condições controle bem irrigadas permaneceu constante, com valores variando de 92 a 96 % (Tabela 4). A deficiência hídrica

provocou diminuição no conteúdo relativo de água das plantas de feijão mungo-verde com valores chegando a 83 % e 81 % (restrição hídrica moderada) e de 71 % e 61 % (restrição hídrica severa) aos 8 e 20 dias, respectivamente. A diminuição de 19 % (restrição hídrica moderada) e 39 % (restrição hídrica severa) no conteúdo relativo de água nas folhas aos 20 dias resultou em diminuição da turgescência, clorose principalmente nas folhas velhas e aumento da taxa de abscisão foliar das plantas de feijão mungo-verde. Após a reidratação, o conteúdo relativo de água nas folhas atingiu valores semelhantes às plantas controle, restaurando a turgescência das folhas. A deficiência hídrica afeta negativamente muitos processos fisiológicos nas plantas, e a diminuição do conteúdo relativo de água nas folhas é um dos primeiros efeitos adversos da deficiência hídrica (PINHEIRO; CHAVES, 2011).

Tabela 4 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio no conteúdo relativo de água (%) das folhas de feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] durante o período de restrição hídrica.

Fatores de variação	Dias após a imposição da deficiência hídrica						
	1	4	8	12	16	20	23 [†]
Nível da adubação potássica							
Baixo (40 mg dm ⁻³ de K)	91 a	84 a	80 b	80 b	77 b	78 b	91 a
Alto (160 mg dm ⁻³ de K)	92 a	87 a	85 a	88 a	85 a	84 a	94 a
Nível de deficiência hídrica							
Controle (100 % cc)	94 a	93 a	92 a	94 a	92 a	95 a	96 a
Moderada (50 % cc)	91 a	87 b	83 b	82 b	82 b	80 b	91 a
Severa (25 % cc)	90 a	79 c	71 c	68 c	63 c	61 c	94 a
CV (%)	5,34	6,52	7,43	8,81	7,94	7,24	6,34

Médias representadas por letras distintas para os níveis de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação. [†] Conteúdo relativo de água das folhas de feijão mungo-verde mensurado após três dias de reidratação das plantas.

O nível de adubação potássica afetou significativamente ($p < 0,05$) a porcentagem de dano da membrana celular das plantas de feijão mungo-verde (Tabela 5). Plantas adubadas com alto nível de K apresentaram menor dano de membrana após 20 dias de exposição à restrição hídrica e após 3 dias de reidratação das plantas. Esses resultados indicam que a aplicação de alto nível de K reduziu o dano causado nas membranas celulares pela exposição das plantas à restrição hídrica. Resultados semelhantes foram relatados por Wei *et al.* (2013) e Steiner *et al.* (2022), os quais mostraram que a adubação potássica melhorou a integridade das membranas celulares das plantas de trigo e soja expostas às condições de deficiência hídrica.

A restrição hídrica resultou no aumento significativo na porcentagem de danos das membranas celulares (Tabela 5). O maior dano das membranas celulares observado em plantas de feijão mungo-verde em condições de escassez hídrica indica que a lesão da membrana

celular foi aumentada. Sob condições de restrição hídrica, as plantas produzem espécies reativas de oxigênio (EROs), como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), radicais superóxidos (O_2^-) e radicais hidroxilas (OH^-). Essas EROs reagem com proteínas, lipídios e ácido desoxirribonucleico causando dano oxidativo e prejudicando a permeabilidade da membrana celular (VURUKONDA *et al.*, 2016). O dano causado pelas EROs na integridade das células é devido à peroxidação lipídica das membranas celulares (PINHEIRO e CHAVES, 2011).

Tabela 5 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio no dano das membranas celulares (%) das folhas de feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] após 20 dias de exposição das plantas à deficiência hídrica e após 3 dias de reidratação.

Fontes de Variação	Após 20 dias de exposição à restrição hídrica	Após 3 dias de reidratação das plantas
Nível de adubação potássica		
Baixo (40 mg dm^{-3} de K)	22,2 b	19,5 b
Alto (160 mg dm^{-3} de K)	16,3 a	12,6 a
Nível de deficiência hídrica		
Controle (100 % cc)	10,2 a	12,1 a
Moderada (50 % cc)	20,1 b	13,2 a
Severa (25 % cc)	23,2 b	16,8 b
CV (%)	7,84	6,78

Médias representadas por letras distintas para os níveis de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados da altura das plantas, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, volume radicular e matéria seca da parte aérea e das raízes das plantas de feijão mungo-verde em função dos níveis de restrição hídrica e da aplicação de K são mostrados na Tabela 6. A altura de planta, área foliar e matéria seca da parte aérea das plantas de feijão mungo-verde foi significativamente maior nas plantas adubadas com alto nível de fertilizante potássico, ao passo que o diâmetro do caule, volume radicular e matéria seca das raízes não foram significativamente afetados ($p > 0,05$) pela adição de níveis de adubação potássica (Tabela 6). De modo geral, os resultados indicam que o crescimento da parte aérea das plantas de feijão mungo-verde foi potencializado pela aplicação de alto nível de adubação potássica.

A altura de planta, diâmetro do caule, área foliar, volume radicular e a matéria seca da parte aérea das plantas de feijão mungo-verde foram drasticamente inibidas com a exposição das plantas às condições de restrição hídrica (Tabela 6). As plantas expostas à restrição hídrica severa tiveram redução média de altura de planta, área foliar, volume radicular e matéria seca da parte aérea de 30%, 32%, 23% e 48%, respectivamente, quando comparadas às plantas sob condições controle bem irrigadas. Esses resultados relatam a resposta típica das plantas à

restrição hídrica normalmente relatado na literatura (ZOZ *et al.*, 2013, NAVEED *et al.*, 2014, CURÁ *et al.*, 2017).

Um dos primeiros processos afetados em resposta à diminuição da disponibilidade de água no solo é a expansão celular, processo altamente dependente da turgidez das plantas. No entanto, com o avanço da restrição hídrica, outros processos fisiológicos são afetados, com efeitos diretos na taxa de fotoassimilados acumulados na planta e taxa de crescimento relativo das plantas (PINHEIRO; CHAVES, 2011). Como resultado desses efeitos, há uma redução na área foliar e na produção de matéria seca. A redução da área foliar e da produção foliar ocorre como reação de defesa das plantas à seca, reduzindo a taxa de transpiração e, portanto, a perda de água para a atmosfera.

Tabela 6 - Efeito do nível de deficiência hídrica e da aplicação de potássio na altura das plantas (AP), diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), volume radicular (VR), matéria seca da parte aérea (MSPA) e matéria seca das raízes (MSR) das plantas de feijão mungo-verde [*Vigna radiata* (L.) R. Wilczek] após 20 dias de exposição das plantas às condições de restrição hídrica.

Fatores de variação	AP (cm)	DC (mm)	AF (dm ²)	VR (cm ³)	MSPA (g)	MSR (g)
Nível de adubação potássica						
Baixo (40 mg dm ⁻³ de K)	73,2 b	6,87 a	20,4 b	32,2 a	11,7 b	9,61 a
Alto (160 mg dm ⁻³ de K)	84,3 a	7,45 a	24,9 a	33,7 a	15,6 a	9,15 a
Nível de deficiência hídrica						
Controle (100 % cc)	91,2 a	7,94 a	26,3 a	37,4 a	18,3 a	9,47 a
Moderada (50 % cc)	81,3 b	7,05 b	24,1 a	33,1 b	13,3 b	8,95 a
Severa (25 % cc)	64,0 c	6,58 c	17,8 b	28,6 c	9,5 c	9,78 a
CV (%)	8,78	11,11	9,27	7,84	9,54	11,13

Média representada por letras distintas para os níveis de adubação potássica e nível de deficiência hídrica são diferentes pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade. CV: coeficiente de variação.

Conclusão

A aplicação de alto nível de fertilizante potássico melhorou a estabilidade da membrana celular das folhas, reduziu o dano das membranas plasmáticas e minimizou a perda de água do tecido foliar das plantas de feijão-caupi e feijão mungo-verde expostas às condições de deficiência hídrica.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq/UEMS, MS, Brasil, Programa de Iniciação Científica (PIBIC).

Referências

- BAHRAMI-RADB, S.; HAJIBOLAND, R. Effect of potassium application in drought-stressed tobacco (*Nicotiana rustica* L.) plants: Comparison of root with foliar application. **Annals of Agricultural Sciences**, v. 62, n. 2, p. 121-130, 2017.
- BARRS, H. D. Effect of cycle variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. **Plant Physiology**, v. 21, n. 4, p.918-29, 1968.
- BASU, S.; RAMEGOWDA, V.; KUMAR, A.; PEREIRA, A. Plant adaptation to drought stress. **F1000 Research**, v. 5, e 1554, jun. 2016.
- CASAROLI, D.; LIER, Q. J. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32: n. 1, p. 59-66, 2008.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZI, K. A. BARBOSA, A. M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2011.
- CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.L.; RICARDO, C.P.P.; OSÓRIO, M.L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How plants cope with stress in the field: photosynthesis and growth. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 907-916, 2002.
- CURÁ, J. A.; FRANZ, D. R.; FILOSOFÍA, J. E.; BALESTRASSE, K. B.; BURGUEÑO, L. E. Inoculation with *Azospirillum* sp. and *Herbaspirillum* sp. bacteria increases the tolerance of maize to drought stress. **Microorganismos**, v. 5, n. 3, e41, jul. 2017.
- FIGLIAREZZA, S.L.; PIVETTA, L.A.; FANO, A.; MACHADO, F.R.; GUIMARÃES, V.F. Comportamento de genótipos de soja submetidos a déficit hídrico intenso em casa de vegetação. **Revista Ceres**, v. 58, n. 3, p. 342-349, 2011.
- FIRMANO, R.S.; KUWAHARA, F.A.; SOUZA, G.M. Relação entre adubação fosfatada e deficiência hídrica em soja. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1967-1973, 2009.
- FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; BOTA, J.; GALMES, J.; HENKLE, M.; MARTINEZ-CANELLAS, S.; MEDRANO, H. Decreased rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **The New Phytologist**, v. 172, n. 1, p. 73-82, 2006.
- GONG, H.; ZHU, X.; CHEN, K.; WANG, S.; ZHANG, C. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. **Plant Science**, v. 169, n. 2, p. 313-321, 2005.
- GRIFFITHS, H.; PARRY, M. A. J. Plant responses to water stress. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 801-802, 2022.
- GUNATHILAKE KGT, HERATH T, WANSAPALA J. Comparison of physicochemical properties of selected locally available legumes varieties (mung bean, cowpea and soybean). **Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences**, v. 10, n. 1, p. 424-430, 2016.

GUNES, A.; PILBEAM, D.J.; INAL, A.; COBAN, S. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress. I: Growth, antioxidant mechanisms, and peroxidation and lipid peroxidation. **Communications Soil Science Plant Analysis**, 39:1885-1903, 2008.

HASANUZZAMAN, M. BHUYAN, M. H. M. B.; NAHAR, K.; HOSSAIN, M. D.; MOHMUD, J. A.; HOSSEN, M. S.; MASUD, A. A. C.; MOUMITA, M. Potassium: A vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. **Agronomy**, v. 8, n. 3, p. 1-29, 2018.

KRON, A. P.; SOUZA, G. M.; RIBEIRO, R. V. Water deficiency at different developmental stages of *Glycine max* can improve drought tolerance. **Bragantia**, v. 67, n.1, p. 43-49, jan. 2008.

LUTTS, S.; KINET, J. M.; BOUHARMONT, J. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 19, n. 9, p. 207-218, 1996.

MERTZ-HENNING, L. M.; FERREIRA, L. C.; HENNING, F. A.; MANDARINO, J. M. G.; SANTOS, E. D.; OLIVEIRA, M. C. N. D.; NEPOMUCENO, A. E. L.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N. Effect of water deficit-induced at vegetative and reproductive stages on protein and oil content in soybean grains. **Agronomy**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2018.

NAVEED, M.; HUSSAIN, M.B.; ZAHIR, Z. A.; MITTER, B.; SESSITSCH, A. Drought stress amelioration in wheat through inoculation with Burkholderia phytofirmans strain PsJN. **Plant Growth Regulation**, v. 73, n. 2, p. 121-131, 2014.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal Experimental Botany**, v. 62, n. 3, p. 86-882, 2011.

REDDY, A. R.; CHAITANYA, K. V.; VIVEKANANDAN, M. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. **Journal Plant Physiology**, v. 161, p. 1189-1202, 2004.

SAMAR-RAZA, M. A. Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 13, n. 1, p. 175-185, 2013.

SANTOS HG, JACOMINE PKT, ANJOS LHC, OLIVEIRA VA, LUMBRERAS JF, COELHO MR, ALMEIDA JA, CUNHA TJF, OLIVEIRA JB. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, E. R., ZOZ, J., OLIVEIRA, C. E. S., ZUFFO, A. M., STEINER, F., ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E. B. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)? **Archives of Microbiology**, v. 201, p. 325-335, 2019.

SOLEIMANZADEH, H.; HABIBI, D.; ARDAKANI, M. R.; PAKNEJAD, F.; REJALI, F. Effect of potassium levels on antioxidant enzymes and malondialdehyde content under drought stress in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **American Journal Agriculture and Biology Sciences**, v. 5, n. 1, p. 56-61, 2010.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Ed.) **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

STEINER, F.; OLIVEIRA, C. E.S.; ZOZ, T.; ZUFFO, A. M.; FREITAS, R. S. Co-Inoculation of common bean with rhizobium and azospirillum enhance the drought tolerance. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 67, n. 4, p. 923-932, 2020.

STEINER, F.; ZUFFO, A. M.; OLIVEIRA, C. E. S.; ARDON, H. J. V.; SOUSA, T. O.; AGUILERA, J. G. Can potassium fertilization alleviate the adverse effects of drought stress on soybean plants? **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 1, p. 1-17, 2022.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 573p.

VIEIRA, E. A.; SILVA, M. G.; MORO, C. F.; LAURA, V. A. Physiological and biochemical changes attenuate the effects of drought on the Cerrado species *Vatairea macrocarpa* (Benth.) Ducke. **Plant Physiology and Biochemistry**, Bari, v. 115, n. 6, p. 472-483, jun. 2017.

VURUKONDA, S. S. K. P.; VARDHARAJULA, S.; SHRIVASTAVA, M.; SKZ, A. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. **Microbiological Research**, Jena, v. 184, n. 1, p. 13-24, mar. 2016.

WANG, M.; ZHENG, Q.; SHEN, Q.; GUO, S. The critical role of potassium in plant stress response. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 14, n. 4, p. 7370-7390, mar. 2013.

WEI, J.; LI, C.; LI, Y.; JIANG, G.; CHENG, G.; ZHENG, Y. Effects of external potassium (K) supply on drought tolerances of two contrasting winter wheat cultivars. **PLoS ONE**, v. 8, n. 7, e69737, 2013.

WU, J.; WANG, J.; HUI, W.; ZHAO, F.; WANG, P.; SU, C.; GONG, W. Physiology of plant responses to water stress and related genes: a review. **Forests**, v. 13, n. 2, p. 324, 2022.

ZAHOOR, R.; ZHAO, W.; ABID, M.; DONG, H.; ZHOU, Z. Potassium application regulates nitrogen metabolism and osmotic adjustment in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) functional leaf under drought stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 215, n., p. 30-38, may. 2017.

ZAIN, N. A. M.; ISMAIL, M. R.; PUTEH, A.; MAHMOOD, M.; ISLAM, M. R. Drought tolerance and ion accumulation of rice following application of additional potassium fertilizer. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 19, p. 2502-2514, 2014.

ZHANG, L.; GAO, M.; LI, S.; ALVA, A. K.; ASHRAF, M. Potassium fertilization mitigates the adverse effects of drought on selected *Zea mays* cultivars. **Turkish Journal Botany**, Ankara, v. 38, n. 5, p. 713-723, jun. 2014.

ZOZ, T.; STEINER, F.; GUIMARÃES, V. F.; CASTAGNARA, D. D.; MEINERZ, C. C.; FEY, R. Peroxidase activity as an indicator of water deficit tolerance in soybean cultivars. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 5, p. 1664-1671, out. 2013.